

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-294879

(43)Date of publication of application : 21.10.1994

(51)Int.Cl.

G21C 3/328

G21C 3/33

G21C 3/326

(21)Application number : 05-084875

(71)Applicant : HITACHI LTD  
HITACHI ENG CO LTD

(22)Date of filing : 12.04.1993

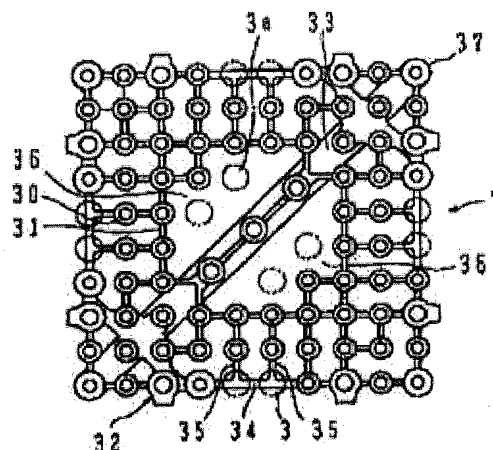
(72)Inventor : AIZAWA YASUHIRO  
NAKAJIMA JUNJIRO  
AOYAMA TADAO

## (54) REACTOR FUEL ASSEMBLY AND UPPER TIE PLATE

(57)Abstract:

**PURPOSE:** To reduce a void coefficient without reducing the degree of reaction and at the same time reduce a two-phase pressure drop by removing a partial boss located on the extension of a partial-length fuel rod of the grid part of an upper tie plate.

**CONSTITUTION:** A grid part 32 positioned on the extension of a partial-length fuel rod 3 of an upper tie plate 7 is in the constitution where a first web 35 is connected in T shape. Then, the part located on the extension of a partial-length fuel rod 3a adjacent to a water rod is used as a hollow region 36 excluding a boss part 30 and the cooling material channel of the upper tie plate 7 is enlarged on the extension line of partial-length fuel rods 3 and 3a. The pressure drop ratio of the upper tie plate 7 occupying the pressure drop of a fuel assembly is relatively large and the W-phase pressure loss of liquid phase and gaseous phase exists at the part, thus further improving the effect of two-phase pressure drop with the combined effect of the partial-length fuel rods 3 and 3a and the cooling material channel enlargement of the upper tie plate 7 and hence further improving channel stability and reactor core stability.



(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 2 1 C 3/328

3/33

3/326

9216-2G

G 2 1 C 3/ 30

GDB W

9216-2G

GDB J

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 16 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号

特願平5-84875

(22)出願日

平成 5年(1993) 4月12日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目 6番地

(71)出願人 390023928

日立エンジニアリング株式会社

茨城県日立市幸町 3丁目 2番 1号

(72)発明者 相澤 泰博

茨城県日立市幸町三丁目 2番 1号 日立エンジニアリング株式会社内

(72)発明者 中島 潤二郎

茨城県日立市幸町三丁目 1番 1号 株式会社日立製作所日立工場内

(74)代理人 弁理士 春日 譲

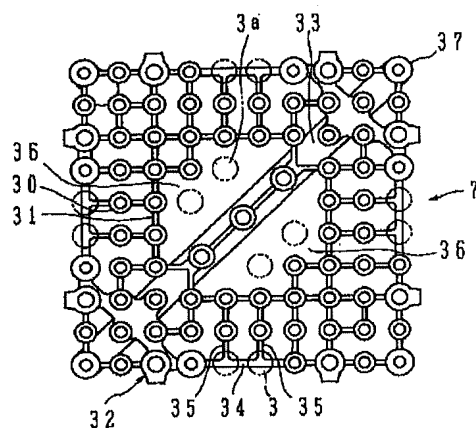
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 原子炉燃料集合体及び上部タイプレート

(57)【要約】

【目的】原子炉燃料集合体及び上部タイプレートにおいて、高燃焼度化を可能としながら反応度を低下させずにボイド係数を小さくし、かつ局所出力ピーキングを平坦化し、合わせて二相流の圧損を効果的に低減する。

【構成】通常の燃料棒 2 と部分長燃料棒 3 を 10×10 の正方格子状に配列し、中央領域に対角線状に 3 本の大型水ロッド 4 を配置し、部分長燃料棒 3 は、正方格子状の燃料棒配列の最外層において水ロッド 4 の投影面積の範囲内に配置する。上部タイプレート 7 は、格子部 3 2 の部分長燃料棒 3 の延長上に位置する部分においてボスが取除かれ、冷却材流路の拡大を図る。



3:部分長燃料棒(第2燃料棒)

3a:部分長燃料棒(第4燃料棒)

7:上部タイプレート

30:ボス

31:ウェブ

32:格子部

33:ハンドル

34:第1ウェブ

35:第2ウェブ

36:中空領域

【特許請求の範囲】

【請求項1】 正方格子状に配列された多数の燃料棒と、減速材横断面積が単位燃料格子の横断面積より大きな少なくとも1本の水ロッドと、前記燃料棒及び水ロッドの上端部を支持する複数のボス及びこれらボス同士を結合する複数のウェブで格子部を形成した上部タイプレートとを有する原子炉燃料集合体において、

(a) 前記燃料棒は、複数の第1燃料棒と、燃料有効長が前記第1燃料棒より短い第2燃料棒とを含むこと；

(b) 前記第2燃料棒は、前記正方格子状の燃料棒配列の最外層においてそのコーナ部以外に配置されていること；

(c) 前記正方格子状の燃料棒配列の最外層より内側において、該最外層に隣接した一層に配置される前記燃料棒のうち、前記最外層の前記第2燃料棒に隣接する燃料棒は前記第1燃料棒であること；

(d) 前記上部タイプレートは、前記格子部の前記第2燃料棒の延長上に位置する部分において少なくともボスが取除かれていること；を特徴とする原子炉燃料集合体。

【請求項2】 正方格子状に配列された多数の燃料棒と、減速材横断面積が単位燃料格子の横断面積より大きな少なくとも1本の水ロッドと、前記燃料棒及び水ロッドの上端部を支持する複数のボス及びこれらボス同士を結合する複数のウェブで格子部を形成した上部タイプレートとを有する原子炉燃料集合体において、

(a) 前記燃料棒は、複数の第1燃料棒と、燃料有効長が前記第1燃料棒より短い第2燃料棒とを含むこと；

(b) 前記第2燃料棒は、前記正方格子状の燃料棒配列の最外層において、前記中性子減速棒を前記正方格子状の燃料棒配列における直交する2方向に投影させたとき、その投影範囲の最も外側を含めてそれより内側に配置されていること；

(c) 前記正方格子状の燃料棒配列の最外層より内側において、該最外層に隣接した一層に配置される前記燃料棒のうち、前記最外層の前記第2燃料棒に隣接する燃料棒は前記第1燃料棒であること；

(d) 前記上部タイプレートは、前記格子部の前記第2燃料棒の延長上に位置する部分において少なくともボスが取除かれていること；を特徴とする燃料集合体。

【請求項3】 請求項1又は2記載の原子炉燃料集合体において、前記格子部の第2燃料棒の延長上に位置する部分はウェブのみで形成されていることを特徴とする原子炉燃料集合体。

【請求項4】 請求項1又は2記載の原子炉燃料集合体において、前記格子部の第2燃料棒の延長上に位置する部分は、前記格子部の外枠の一部を構成する第1ウェブと、前記第1ウェブにT字状に結合され、前記最外層に隣接した一層で第2燃料棒に隣接する第1燃料棒の上端部を支持するボスを前記第1ウェブに結合する第2ウェブ

とからなることを特徴とする原子炉燃料集合体。

【請求項5】 請求項1又は2記載の原子炉燃料集合体において、前記格子部の第2燃料棒の延長上に位置する部分は、前記格子部の外枠の一部を構成するウェブのみで形成されていることを特徴とする原子炉燃料集合体。

【請求項6】 請求項1又は2記載の原子炉燃料集合体において、前記格子部の第2燃料棒の延長上に位置する部分は中空領域であることを特徴とする原子炉燃料集合体。

【請求項7】 請求項1又は2記載の原子炉燃料集合体において、前記燃料棒は、燃料有効長が前記第1燃料棒より短く、前記最外層に隣接した一層のコーナ部に配置された第3燃料棒を更に含み、前記上部タイプレート格子部の第3燃料棒の延長上に位置する部分は中空領域であることを特徴とする原子炉燃料集合体。

【請求項8】 請求項1又は2記載の原子炉燃料集合体において、前記燃料棒は、燃料有効長が前記第1燃料棒より短く、前記水ロッドに隣接して配置された第4燃料棒を更に含み、前記上部タイプレート格子部の第4燃料棒の延長上に位置する部分は中空領域であることを特徴とする原子炉燃料集合体。

【請求項9】 燃料棒及び水ロッドの上端部を支持する複数のボスをウェブで結合して格子部を形成した原子炉燃料集合体の上部タイプレートにおいて、前記格子部のコーナ部を除いた最外層の一部は少なくともボスが取除かれていることを特徴とする原子炉燃料集合体の上部タイプレート。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は原子炉燃料集合体及び上部タイプレートに係わり、特に高燃焼度化を可能としかつ燃料経済性の向上、熱的余裕の増大、安定性の向上、圧力損失の低減に寄与する原子炉燃料集合体及び上部タイプレートに関する。

【0002】

【従来の技術】沸騰水型原子炉に装荷される従来の燃料集合体は、四角筒のチャンネルボックスと、このチャンネルボックスの内部に収納された燃料バンドルからなる。燃料バンドルは、チャンネルボックスの上下部にはめこむ上部タイプレートおよび下部タイプレートと、チャンネルボックス内部で軸方向に沿って間隔を置いて設置された複数のスペーサと、このスペーサを貫通したタイプレートに両端を固定して正方格子状に配置された多数の燃料棒及び少なくとも1本の水ロッドとから構成される。上部タイプレートは、燃料棒及び水ロッドの上端部を支持するための円筒状のボス及び隣接するボス相互を連結するウェブからなる格子部、チャンネルボックスの挿入性を良くするコーナポスト及び燃料集合体の取扱時の取手となるハンドルで構成されたステンレス鋼製鋼製一体成型品である。

【0003】近年、連続運転期間の延長、ウラン資源の有効利用、さらに使用済み燃料発生量の低減の観点から、燃料の高燃焼度化が進められている。高燃焼度化のためには燃料の濃縮度を高める必要がある。しかし、濃縮度の増加に伴い、中性子の平均エネルギーが上昇するため、ボイド変化に伴う反応度変化が増大したり、核分裂性燃料の有効利用（燃料経済性）が阻害されたりと云う問題があった。ボイド変化に伴う反応度変化の増大はボイド係数の絶対値を増大させ、炉心安定性を低下させると共に、運転時、冷温時の反応度差が増大するので炉停止余裕を低下させる。この対応策は、燃料集合体内の減速材割合（減速材対燃料比）を増大し、中性子の平均エネルギーを低減（中性子スペクトルをソフトに）することである。

【0004】沸騰水型原子炉ではチャンネルボックスの外部に制御棒や中性子検出器計装管を配置する構成になっており、そのため燃料集合体間にはそれらの装置が挿入されるだけの間隙が設けられている。上記間隙は飽和水で満たされているため、燃料集合体周辺部（間隙に近い領域）の燃料棒と燃料集合体中心部の燃料棒では間隙の飽和水の影響が異なる。すなわち、間隙に近い燃料集合体周辺部の燃料棒は、実効的には減速材対燃料比が大きな領域となり、燃料集合体の核的な特性を決める要因である減速材対燃料比が位置により異なる。

【0005】減速材対燃料比を増大する方法には、燃料装荷量を減少する方法と減速材領域あるいは減速材密度を増大する方法とがある。具体的には、

①沸騰水領域の増大（燃料棒本数を減少するか、あるいは燃料棒径を細くする）

②非沸騰水領域（水ロッド領域あるいはギャップ水領域）の増大

がある。しかし、このような対策を採用した燃料集合体では、いずれも燃料装荷量が減少するため、減速材対燃料比増大の面からは燃料経済性が向上するが、燃料装荷量の面から燃料経済性が損なわれ、結局、燃料経済性の向上には至らない。また、①では、燃料棒の全長が減少するため線出力密度が増大し熱的余裕が減少し、②では、冷却材の流路面積が減少するため圧力損失が増大すると云う新たな課題が発生する。

【0006】従来の燃料集合体では、燃料棒は8行8列（ $8 \times 8$ ）の格子状に配列されているが、燃料棒の格子配列数を $9 \times 9$ 、 $10 \times 10$ へと増大させれば、平均線出力密度を減少しかつ伝熱面積を増大して、熱的余裕が高まる。また、特開昭52-50498号公報に記載のように、燃料棒有効長が短い部分長燃料棒を用いて燃料集合体を構成することが知られており、摩擦圧損が大きな二層流部（炉心上部）の流路面積が増大することで、燃料装荷量を減少することなく圧力損失を低減できる。したがって、これらの2つの対策を併用した上で、上記①及び②を採用すれば、高燃焼度化に適した燃料集合体

となる。

【0007】以上の観点より、燃料棒の外径を細くして、本数を増やした $9 \times 9$ 、 $10 \times 10$ 格子の燃料棒配列にし、水ロッドの横断面積を単位燃料格子の横断面積より大きくし、かつ複数の部分長燃料棒を配置した燃料集合体が提案されており、一例として、特開昭64-88292号公報、特開昭62-276493号公報、特開昭64-31089号公報、特開昭64-23195号公報がある。

【0008】特開昭64-88292号公報には、燃料棒配列格子数を増加した燃料集合体において、太径水ロッドに隣接して複数の部分長燃料棒をかためて配置したものが開示されている。特開昭62-276493号公報には、燃料棒配列格子数を増加した燃料集合体において、多数の水ロッドまたは太径水ロッドを配置すると共に、燃料棒格子状配列のコーナ部を含む対角線上に一系列に複数の部分長燃料棒を配置したものが開示されている。特開昭64-31089号公報には、燃料棒配列格子数を増加した燃料集合体において、太径水ロッドを配置すると共に、燃料棒格子状配列のコーナ部に複数の部分長燃料棒をかためて配置したものが開示されている。特開昭64-23195号公報には、燃料棒配列格子数を増加した燃料集合体において、太径水ロッドを配置すると共に、燃料棒格子状配列の最外層の各辺を2等分する線上、または燃料棒格子状配列のコーナ部を含む対角線上に一系列に複数の部分長燃料棒を配置したものが開示されている。

【0009】一方、部分長燃料棒を配置した燃料集合体の上部タイプレートとして、実開昭61-123996号公報及び特開昭61-196192号公報には、部分長燃料棒の延長上に位置する部分のボスを取除いたものが記載されている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】高燃焼度燃料集合体の開発に当たっては、現行炉心にバックフィットすることを考え、圧力損失、熱的余裕（線出力密度、限界出力）等を、現行の燃料集合体のそれと同等にする必要がある。

【0011】燃料棒の外径を細くして、燃料棒の格子配列数を増大させることが高燃焼度燃料集合体には有利であることは前述した。しかし、燃料格子配列数を増加しただけでは、燃料配列に対する自由度が増大する反面、濡れ縁長さが増大し圧損が増大すると共に、燃料棒外径が減少し燃料棒の時定数が増大するため、安定性（チャンネル安定性、炉心安定性）が厳しくなるという新たな課題が生ずる。これを解決するためには、ボイド係数の絶対値を現行の燃料集合体のそれより小さくする必要がある。すなわち、今までは、燃料の濃縮度増大の観点からボイド係数の絶対値低減の対策を論じたが、燃料格子配列数を増加する場合には、ボイド係数の絶対値を更に小さくする必要がある。

【0012】前述の①、②の通り、ボイド係数などの反応度係数は、減速材対燃料比を増大すること、つまり、水ロッド領域を増大すると共に、燃料装荷量を減少することが必要である。しかし、燃料装荷量の減少は、燃料経済性を損なうため避けたい対策である。したがって、高燃焼度燃料集合体の開発に当たっては、燃料装荷量の減少によらない新たな反応度制御（ボイド係数の絶対値減少及び運転時－冷温時反応度差の減少）の方法を開発することが重要となる。

【0013】燃料装荷量の減少によらない反応度制御方法としては、前述した特開昭64-88292号公報、特開昭62-276493号公報、特開昭64-31089号公報、特開昭64-23195号公報に記載のように、部分長燃料棒の配置位置を選択することがある。すなわち、特開昭64-88292号公報、特開昭64-31089号公報では、太径水ロッドに隣接する位置か、燃料棒格子状配列のコーナ部に複数の部分長燃料棒をかためて配置しており、特開昭62-276493号公報、特開昭64-23195号公報では、燃料棒格子状配列のコーナ部を含む対角線上か、燃料棒格子状配列の最外層の各辺を2等分する線上に複数の部分長燃料棒を一行に配置している。これらは、いずれも非沸騰水領域（水ロッドあるいはギャップ水領域）と部分長燃料棒を隣接させることで、中性子減速効果を促進し、ボイド係数の低減及び運転時と冷温時の反応度差低減を狙っている。

【0014】しかしながら、これら従来技術の方法では、ボイド係数などの反応度係数を低減し、反応度制御性を向上するが、部分長燃料棒の配置位置による反応度自体の変化、または局所出力ピーキングについては十分な配慮がされていない。すなわち、従来技術では、複数の部分長燃料棒を水ロッドあるいはコーナ部のギャップ水領域に少なくとも一部が隣接する形でかためて配置しているため、共鳴中性子の吸収が増大し、反応度損失が大きくなり燃料経済性が損なわれるという問題がある。また、部分長燃料棒より上部の断面では、部分長燃料棒に隣接する燃料棒の局所出力ピーキングが増大し、熱的余裕が減少するという問題がある。

【0015】そこで本願出願人は、上記課題を解決するため、特願平4-210539号（出願日、平成4年8月6日）にて、正方格子状に配列された多数の燃料棒2と、減速材横断面積が単位燃料格子の横断面積より大きな少なくとも1本の水ロッド3とを有する燃料集合体において、（a）前記燃料棒2は、複数の第1燃料棒と、燃料有効長が前記第1燃料棒より短い第2燃料棒とを含むこと、（b）前記第2燃料棒は、前記正方格子状の燃料棒配列の最外層においてそのコーナ部以外に配置されていること、（c）前記正方格子状の燃料棒配列の最外層より内側において、該最外層に隣接した一層に配置される前記燃料棒のうち、前記最外層の前記第2燃料棒に

隣接する燃料棒は前記第1燃料棒であることを特徴とする燃料集合体を提案した。

【0016】このように部分長燃料棒である第2燃料棒の配置位置を最適化したことにより、高燃焼度化を可能としながら反応度を低下させずにボイド係数を小さくし、かつ局所ピーキングを平坦化することに成功した。

【0017】本発明は上記先願発明を更に改善し上部タイプレート構造を適切化するものである。すなわち、燃料集合体のハード面での設計上、燃料棒配列を定める部材のひとつである上部タイプレートの構造が、上記先願発明の燃料集合体構造を実現するうえで重要となる。実開昭61-123996号公報及び特開昭61-196192号公報に記載の燃料集合体では、部分長燃料棒を備えた燃料集合体の上部タイプレートの構造が示されているが、部分長燃料棒の配置効果をふまえた燃料集合体としての性能向上に関しては、特に考慮されていない。

【0018】本発明の第1の目的は、高燃焼度化を可能としながら反応度を低下させずにボイド係数を小さくし、合わせて二相圧損を低減するのに有効な原子炉燃料集合体及び上部タイプレートを提供することである。

【0019】本発明の第2の目的は、高燃焼度化を可能としながら反応度を低下させずにボイド係数を小さくし、かつ局所出力ピーキングを平坦化し、合わせて二相圧損を低減するのに有効な原子炉燃料集合体及び上部タイプレートを提供することである。

【0020】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的を達成するために、本発明は、正方格子状に配列された多数の燃料棒と、減速材横断面積が単位燃料格子の横断面積より大きな少なくとも1本の水ロッドと、前記燃料棒及び水ロッドの上端部を支持する複数のボス及びこれらボス同士を結合する複数のウェブで格子部を形成した上部タイプレートとを有する原子炉燃料集合体において、（a）前記燃料棒は、複数の第1燃料棒と、燃料有効長が前記第1燃料棒より短い第2燃料棒とを含むこと；（b）前記第2燃料棒は、前記正方格子状の燃料棒配列の最外層においてそのコーナ部以外に配置されていること；

（c）前記正方格子状の燃料棒配列の最外層より内側において、該最外層に隣接した一層に配置される前記燃料棒のうち、前記最外層の前記第2燃料棒に隣接する燃料棒は前記第1燃料棒であること；（d）前記上部タイプレートは、前記格子部の前記第2燃料棒の延長上に位置する部分において少なくともボスが取除かれていること；を特徴としている。

【0021】また、上記第2の目的を達成するために、本発明は、上記原子炉燃料集合体において、前記第2燃料棒は、前記正方格子状の燃料棒配列の最外層において、前記中性子減速棒を前記正方格子状の燃料棒配列における直交する2方向に投影させたとき、その投影範囲

の最も外側を含めてそれより内側に配置されていることを特徴としている。

【0022】上記原子炉燃料集合体において、好ましくは、前記格子部の第2燃料棒の延長上に位置する部分はウェブのみで形成されている。この場合、当該ウェブは、前記格子部の外枠の一部を構成する第1ウェブと、前記第1ウェブにT字状に結合され、前記最外層に隣接した一層で第2燃料棒に隣接する第1燃料棒の上端部を支持するボスを前記第1ウェブに結合する第2ウェブとで形成してもよいし、前記格子部の外枠の一部を構成するウェブのみで形成してもよい。

【0023】前記格子部の第2燃料棒の延長上に位置する部分は中空領域であってもよい。

【0024】また上記原子炉燃料集合体において、好ましくは、前記燃料棒は、燃料有効長が前記第1燃料棒より短く、前記最外層に隣接した一層のコーナ部に配置された第3燃料棒を更に含み、前記上部タイプレート格子部の第3燃料棒の延長上に位置する部分は中空領域である。

【0025】また、好ましくは、前記燃料棒は、燃料有効長が前記第1燃料棒より短く、前記水ロッドに隣接して配置された第4燃料棒を更に含み、前記上部タイプレート格子部の第4燃料棒の延長上に位置する部分は中空領域である。

【0026】また、上記第1及び第2の目的を達成するため、本発明は、燃料棒及び水ロッドの上端部を支持する複数のボスをウェブで結合して格子部を形成した原子炉燃料集合体の上部タイプレートにおいて、前記格子部のコーナ部を除いた最外層の一部は少なくともボスが取除かれていることを特徴としている。

【0027】

【作用】部分長燃料棒である第2燃料棒を正方格子状の燃料棒配列の最外層に配置することにより、ボイド係数の低減効果が得られ、反応度制御性が向上する。また、制御棒価値向上の効果も期待でき、安全性向上に寄与する。

【0028】また、部分長燃料棒である第2燃料棒を正方格子状の燃料棒配列の最外層においてそのコーナ部以外に配置することにより、反応度損失が低減する。また、第2燃料棒を、正方格子状の燃料棒配列の最外層において、中性子減速棒を正方格子状の燃料棒配列における直交する2方向に投影させたとき、その投影範囲の最も外側を含めてそれより内側に配置することにより、反応度損失と局所出力ピーキングの両方を改善でき、燃料経済性の向上と熱的余裕の向上が図れる。

【0029】更に、正方格子状の燃料棒配列の最外層より内側において、該最外層に隣接した一層に配置される前記燃料棒のうち、前記最外層の第2燃料棒に隣接する燃料棒は第1燃料棒であることにより、その第1燃料棒の領域が減速材領域で囲まれる構成となり、その結果、

減速材領域で効率よく減速された熱中性子が、第1燃料棒の領域に効率よく流入するため、共鳴吸収が減少し、反応度制御性だけでなく燃料経済性が改善される。この効果は、第1燃料棒が配置される領域を最外層に隣接した一層全体とすることにより更に大きくなり、その層を2層とすることにより更にまた大きくなる。

【0030】正方格子状の燃料棒配列の最外層より内側において、該最外層に隣接した一層のコーナ部に部分長燃料棒である第3燃料棒を配置することにより、チャンネルボックス内の冷却材流量分布及び蒸気体積率分布が均一になる。即ち、一般に、チャンネルボックスに面した領域、特にコーナ部近傍は摩擦抵抗が大きく、冷却材流量が減少する傾向にある。部分長燃料棒を最外層に隣接した一層のコーナ部に配置することで、これを解消できる。

【0031】また、部分長燃料棒である第4燃料棒を水ロッドに隣接して配置することで、燃料集合体中央部の水ロッド領域を大きくしたこととほぼ等価になるので、燃料集合体の中性子無限増倍率を増加できる効果がある。

【0032】以上は先願発明の構成部分の作用である。本発明は上部タイプレートに関し更に次のような作用が得られる。

【0033】燃料集合体の圧損に占める上部タイプレートの圧損割合は比較的大きく、しかも当該部分では液相と気相の二相圧損である。上部タイプレート格子部の第2燃料棒の延長上に位置する部分において少なくともボスを取除くことにより、部分長燃料棒の延長上の冷却材流路が拡大されるので、部分長燃料棒と上部タイプレートの冷却材流路拡大との組合せ効果によって、二相圧損低減の効果が一層高まって、チャンネル安定性及び炉心安定性が向上する。

【0034】また、管内を流れる流体の速度は、管中央部で速く、管壁近傍で遅いことが一般的に知られている。燃料集合体の内部を流れる冷却材の速度についても同様の傾向にある。この結果、燃料集合体の上部においても、上部タイプレートの格子部の中央部において流速が相対的に速く、チャンネルボックスの壁近傍の流速は相対的に遅い傾向にある。このことから、非常時に燃料集合体の上部から注水された冷却水は、上部タイプレートの格子中央部よりも流速が相対的に遅いチャンネルボックスの壁近傍領域の方が、カウンタフローの影響が少なく、内部に流入し易いと考えられる。本発明においては、第2燃料棒が最外層に配置され、その延長上に位置する格子部部分の冷却材流路が拡大されるため、非常時の冷却特性が良好となり安全性が一層向上する。

【0035】更に、上部タイプレート格子部の第3燃料棒または第4燃料棒の延長上に位置する部分を中空領域とすることにより、部分長燃料棒の延長上の冷却材流路が更に拡大されるので、部分長燃料棒と上部タイプレ

トの冷却材流路拡大との組合せ効果によって、二相圧損低減の効果が更に高まって、チャンネル安定性及び炉心安定性が更に向上する。

【0036】尚、本願明細書中において、燃料棒の配置に関して「隣接する」とは行方向、列方向に隣接することは勿論、斜め方向に隣接することも含むものとしてしようする。

【0037】

【実施例】本発明の一実施例を図1～図12により説明する。

（構成）図2において、本実施例の燃料集合体1は沸騰水型原子炉用であり、複数本の燃料棒20と3本の大型水ロッド4（図3参照）を燃料スペーサ9により水平方向間隔を一定にして正方格子状に束ね、燃料棒20と水ロッド4の上下端が上部タイプレート7及び下部タイプレート8で支持された燃料束が、角筒状のチャンネルボックス5で覆われた構造である。

【0038】図3において、燃料棒20は10×10の正方格子状に配列されている。燃料棒20は、通常の全長型燃料棒である多数の燃料棒2と、この燃料棒の正方格子状配列の最外層に配置された8本の部分長燃料棒3と、大型水ロッド4に隣接して配置された4本の部分長燃料棒3aとで構成されている。燃料棒2と部分長燃料棒3、3aとの合計は90本である。3本の大型水ロッド4はそれぞれ横断面円形を有し、燃料棒配列の中央部の4×4の格子領域に対角線状に配置されている。

【0039】部分長燃料棒3、3aは燃料有効長が燃料棒2より短く、燃料棒2の燃料有効長の15/24である。これは、その上端が5段目のスペーサ9に支持される長さである。

【0040】また、最外層に配置された部分長燃料棒3は、チャンネルボックス5に面する燃料棒配列の最外層4辺の各々に2本ずつ隣接して配置されている。この部分長燃料棒3の配置位置は、燃料棒配列の各格子位置を数学上の行列の手法を用いて表現すると、(1, 5), (1, 6); (5, 1), (6, 1); (5, 10), (6, 10); (10, 5), (10, 6)の各格子位置に配置されている。ここで、正方格子状の燃料棒配列の横方向の並びを行、縦方向の並びを列とし、図示上からi番目の行で、図示左からj番目の列に位置する格子位置を(i, j)と表現した。すなわち、部分長燃料棒3は、燃料棒配列外周形状の2つの対角線のそれぞれに関して対称的に配置されている。また、正方格子状の燃料棒配列の最外層より内側においては、最外層に隣接した一層及びこれに隣接した一層の合計2層には、通常の燃料棒2のみが配置されている。

【0041】3本の大型水ロッド4は、燃料棒配列の中央部の4×4の格子領域中、燃料棒を10本配置可能な領域に対角線状に少し離れて配置されており、残りの領域には2本の燃料棒2と4本の部分長燃料棒3aが配置

されている。水ロッド4の外径は20.7mmであり、水ロッド4の肉厚を考慮すると水ロッド内横断面積の合計は約9cm<sup>2</sup>である。水ロッド4が配置される格子位置は、各々、隣接する4つの燃料格子のうち2つ以上が水ロッド4が位置する格子位置となっている。

【0042】また、3本の大型水ロッド4が占める最も外側の格子位置は、4×4の格子領域対角線上の(4, 7)と(7, 4)であり、行方向（横方向）に第4～第7、列方向（縦方向）にも第4～第7間にあり、上記部分長燃料棒3は、これら行または列の範囲内に位置している。すなわち、部分長燃料棒3は、正方格子状の燃料棒配列の最外層において、水ロッド4を行方向、列方向に投影させたとき、その投影範囲の最も外側の両格子位置を含めてそれらの格子位置より内側に配置されている。

【0043】また、部分長燃料棒3、3aは下端を下部タイプレート8に支持され、上端を5段目のスペーサ9に支持され、中間部の4箇所を1～4段のスペーサ9により保持されている。

【0044】図1に上部タイプレート7の底面図を示す。上部タイプレート7は、燃料棒2及び水ロッド4の上端部を支持する複数の円筒形をしたボス30及びボス30同士を結合するウェブ31からなる格子部32と、格子部32の上面に対角状に取付けられ、燃料集合体1の取扱時の取手となるハンドル33と、格子部32の4箇所のコーナ部に位置し、チャンネルボックス5の挿入性をよくするコーナポスト37とで構成されたステンレス鋼鋳鋼製一体成型品である。コーナポスト37の基部はボス30を兼ねている。上記のように、部分長燃料棒3、3aの上端は上部タイプレート7に支持されておらず、この部分長燃料棒3、3aの延長上に位置する格子部32の部分においては少なくともボスが取除かれている。

【0045】すなわち、最外層の部分長燃料棒3の延長上に位置する格子部32の部分はボスのみが除去され、格子部32の外枠の一部を構成する第1ウェブ34と、この第1ウェブ34とT字状に結合され、燃料棒配列の最外層に隣接した一層で部分長燃料棒3に隣接する燃料棒2の上端を支持するボス30を第1ウェブ34に結合する第2ウェブ35とで構成されている。また、水ロッド4に隣接する部分長燃料棒3aの延長上に位置する部分はボス及びウェブが共に除去され、中空領域36になっている。その結果、従来と同様に上部タイプレートの格子部7には外枠が形成されているため、構造強度を損なうことなく、部分長燃料棒3、3aの延長線上で上部タイプレート7の冷却材流路を拡大できる。

【0046】（作用）次に、本実施例の作用を説明する。

（1）部分長燃料棒の配置位置等について  
燃料棒の格子配列を従来の8×8格子から10×10格

子とすることで、燃料を燃料集合体内に分布させる自由度が高くなる。したがって、燃料集合体内の燃料あるいは減速材を局在化して配置することが可能になる。ここでいう局在化とは、燃料と減速材の境界線によって囲まれる燃料あるいは減速材領域において、その単位体積あたりの境界線の長さが短くなることを意味している。

【0047】減速材領域（非沸騰水領域）を局在化する位置が反応度制御（ボイド率の変化や運転状態から冷温状態への変化に伴う反応度変化の減少）へ及ぼす効果を説明する。図4に、燃料装荷量を一定とし、水ロッド領域（内側領域の減速材）を増大させた場合と、ギャップ水領域（外側領域の減速材）を増大させた場合のボイド係数の変化を比較して示す。この図より、反応度制御性の向上にはチャンネルボックスに面した燃料集合体の外側領域の方が、水ロッドに面した燃料集合体の内側領域より効果的である（感度が高い）ことが分かる。

【0048】また、図5に、部分長燃料棒の配置位置による、部分長燃料棒より上部断面でのボイド係数の変化を示す。この図よりボイド係数低減の感度は、以下の順であることが分かる。

- (1) チャンネルボックスに面した燃料集合体の外側1層目のコーナ部燃料
- (2) (1)以外のチャンネルボックスに面した燃料集合体の外側1層目燃料
- (3) 水ロッドに隣接した燃料集合体の内側領域の燃料
- (4) チャンネルボックスにも水ロッドにも隣接しない燃料

これは、前述の図4で説明した非沸騰水領域の局在化と同様に、減速材領域を局在化すること（部分長燃料棒を非沸騰水領域に隣接させること）が反応度制御に効果があることを示している。この効果は、水素対重金属原子数比（ $H/U$ ）が小さく、中性子減速効果の感度が高い炉心上部領域（高ボイド率領域）で著しい。

【0049】以上の理由により、本実施例では、燃料棒2, 3, 3aを $10 \times 10$ の正方格子状に配列し、部分長燃料棒3を燃料棒配列の最外層に配置したものであり、これによりボイド係数の低減効果が得られ、反応度制御性が向上する。

【0050】部分長燃料棒を燃料棒配列の最外層に配置する場合、その配置位置が反応度及び局所出力ピーキングに及ぼす影響について説明する。図6は、上記実施例のように部分長燃料棒をチャンネルボックスに面した最外層に対称に4本配置する場合において、図示上辺で見て部分長燃料棒の配置位置を（1, 1）～（1, 10）に変更したときの、各位置における部分長燃料棒より上部断面での部分長燃料棒位置と中性子無限増倍率（A）及び局所ピーキング（B及びC）の関係を示したものである。燃料棒配列は上記実施例と同様 $10 \times 10$ 格子であり、3本の水ロッドが、燃料棒配列の中央部の $4 \times 4$ の格子領域中、燃料棒を10本配置可能な領域に配置さ

れている。なお、Aについては、部分長燃料棒が図示上辺で見て（1, 5）に位置するときを基準としてそれとの反応度差で示し、Bについては、部分長燃料棒がコーナ部に位置するときはそれに隣接した通常燃料棒、それ以外では部分長燃料棒に図示左側で隣接する通常燃料棒の局所出力ピーキング係数を示し、Cについては、コーナ部に位置する通常燃料棒の局所出力ピーキング係数を示す。

【0051】図6から分かるように、部分長燃料棒が最外層のコーナ部に位置するときは反応度損失が大きく、かつ部分長隣接燃料棒の局所出力ピーキングも大きい。部分長燃料棒位置が最外層のコーナ部に隣接した格子位置、例えば図示上辺で見て（1, 2）に移動するときは、反応度損失は大幅に改善されるが、部分長隣接燃料棒及びコーナ部燃料棒の局所出力ピーキングは大きい。部分長燃料棒が最外層のコーナ部からコーナ部を含め3番目の格子位置、例えば図示上辺で見て（1, 3）に位置するときは、反応度損失は更に改善されるが、部分長隣接燃料棒及びコーナ部燃料棒の局所出力ピーキングは依然として大きい。部分長燃料棒が最外層のコーナ部からコーナ部を含め4番目またはそれよりも内側に位置するとき、例えば図示上辺で見て（1, 4）またはそれよりも内側に位置するときは、反応度損失はほとんど無くなり、かつ部分長隣接燃料棒及びコーナ部燃料棒の局所出力ピーキングも大幅に低下する。

【0052】以上の理由により、本実施例においては、部分長燃料棒3を燃料棒配列の最外層において、水ロッドの投影範囲の最も外側の両格子位置を含めてそれらの格子位置より内側に配置したものであり、この配置により反応度損失と局所出力ピーキングの両方を改善でき、燃料経済性の向上と熱的余裕の向上が図れる。なお、局所出力ピーキングについては別途対策を講じるのであれば、反応度損失の低減のみを考えれば良く、この場合は、部分長燃料棒を最外層のコーナ部に隣接した格子位置、または最外層のコーナ部からコーナ部を含め3番目の格子位置に配置してもよい。

【0053】部分長燃料棒を燃料棒配列の最外層に配置する場合、その配置位置が制御棒値に及ぼす影響を説明する。図7は、上記実施例のように部分長燃料棒をチャンネルボックスに面した最外層に対称に4本配置する場合において、図示上辺で見て部分長燃料棒の配置位置を（1, 1）～（1, 10）に変更したときの、部分長燃料棒位置と部分長燃料棒より上部断面での制御棒値との関係を示している。制御棒値は、同じ本数の部分長燃料棒を水ロッドに隣接させる場合を基準にして、それとの差で示している。この図から分かるように、チャンネルボックスに面した最外層に部分長燃料棒を配置した方が、水ロッドに隣接して配置するよりも、制御棒値はいずれの場合も大きくなる。これは、制御棒（特に吸収棒）近傍の熱中性子束が増大したことが要因である。



【0054】したがって、本実施例では、部分長燃料棒3を燃料棒配列の最外層に配置することにより、制御棒価値向上の効果も期待でき、安全性向上に寄与する。

【0055】部分長燃料棒3を2本隣接することの効果を図8により説明する。図8は、部分長燃料棒を隣接した場合の反応度制御性及び制御棒価値を示している。この図から分かるように、部分長燃料棒3を隣接させることで、反応度制御性及び制御棒価値共に、1本のみの効果を単純に足し合わせた以上の効果を得ている。2本以上を隣接して配置しても（減速材を局在化しても）、図6で説明したように、局所出力ピーキングに対して平坦化に寄与する位置に配置すれば、すなわち、水ロッド4の投影面積の範囲内に配置されていれば、熱的余裕の確保の点で問題にならない。したがって、本実施例によれば、反応度制御性及び制御棒価値の向上の点で、部分長燃料棒を最外層4辺の各々に1本ずつ配置した場合に比べて2倍以上の効果を得ることができる。

【0056】また、本実施例においては、部分長燃料棒3aを水ロッド4に隣接して配置することで、燃料集合体中央部の水ロッド領域を大きくしたこととほぼ等価になるので、燃料集合体1内外の熱中性子束分布の平坦化に効果があり、図9に示すように燃料集合体の中性子無限増倍率を増加できる（後述）。この場合、ボイド係数の低減効果及び制御棒価値の増大効果は、図4及び図7に示したように、水ロッドより外側領域の方が大きいので、本実施例のように、水ロッド4に隣接する部分長燃料棒3aの本数よりチャンネルボックス5に隣接する部分長燃料棒3の本数を多くすることで、反応度制御性の観点から必要となる部分長燃料棒の本数を少なくできると共に、制御棒価値を増大する効果が得られる。また、このようにチャンネルボックスと水ロッドに隣接する部分長燃料棒3、3aを共存させることで、燃料集合体1内外の熱中性子束分布の平坦化に効果がある。

【0057】一方、減速材領域の局在化効果を最大限に活用するためには、通常燃料棒を局在化することが必要である。通常燃料棒の局在化は、共鳴中性子が吸収される確率を低減し、より一層の燃料経済性の向上に寄与する。本実施例では、正方格子状の燃料棒配列の最外層より内側において、最外層に隣接した一層で第2燃料棒に隣接する格子位置には通常の燃料棒2のみが配置され、中央には水ロッド4を集中して配置し、外側の層（最外層）に部分長燃料棒3を配置しており、通常燃料棒2の領域が減速材領域で囲まれた構成になっている。その結果、減速材領域で効率よく減速された熱中性子が、通常燃料棒2の領域に効率よく流入するため、共鳴吸収が減少し、反応度制御性だけでなく燃料経済性が改善される。この効果は、第1燃料棒のみが配置される領域を最外層に隣接した一層全体とすることにより更に大きくなり、その層を本実施例のように2層とすることにより更にまた大きくなる。

【0058】（2）水ロッドの大きさ、形状等について減速材領域（非沸騰水領域）の局在化が燃料経済性へ及ぼす効果、及び水ロッド横断面積、形状の最適化について説明する。図9に、燃料棒の格子配列数を $10 \times 10$ とした燃料集合体において、燃料装荷量を一定として、水ロッド領域（内側領域の減速材）を増大させた場合と、チャンネルボックス外側のギャップ水領域（外側領域の減速材）を増大させた場合の反応度の変化を比較して示す。横軸には水ロッド領域またはギャップ水領域の増分（非沸騰水領域の増分）と、水ロッド領域の増分に関しチャンネルボックス内横断面積に対する水ロッド内横断面積の割合の2つの指標を示し、縦軸には現在の水ロッド内横断面積である $3 \text{ cm}^2$ （1.7%）を基準とした中性子無限増倍率の差を示す。この図より、中性子無限増倍率の向上、すなわち、反応度または燃料経済性の向上にはチャンネルボックスに面した燃料集合体の外側領域より、燃料集合体の内側領域の方が効果的である（感度が高い）ことが分かる。これは、中性子束分布の平坦化により、減速材による中性子吸収が減少するためである。熱中性子束分布の平坦化は、燃料経済性だけでなく局所出力分布にも影響を及ぼすため、熱的余裕を確保する点からも重要である。

【0059】このように、 $10 \times 10$ 格子の燃料集合体においては、燃料経済性向上のためには水ロッド内横断面積を増加することが効果があり、そのために水ロッド内横断面積を現在の $3 \text{ cm}^2$ （1.7%）から増大することが必要である。一方、水ロッド領域の燃料格子数を増大することは、燃料棒本数の減少になり、高燃焼度化に反することになる。燃料集合体の対称性を考慮すると、 $10 \times 10$ 格子燃料集合体では、水ロッド領域の燃料格子位置数は、現在の2本から8本～16本の範囲が妥当である。 $10 \times 10$ 格子燃料集合体の燃料単位格子の面積が、現在の $8 \times 8$ 格子の60%程度になること、また水ロッド領域の燃料格子位置数が上記より4倍～8倍になることを考えると、水ロッド内横断面積としては $7$ （4%）～ $14$ （8%） $\text{cm}^2$ の範囲が適切である。

【0060】本実施例では、以上の理由により3本の水ロッド4の横断面積の合計は約 $9 \text{ cm}^2$ となっており、これによっても反応度を高め、燃料経済性を向上できる。

【0061】また、水ロッド内横断面積の最適化には安定性の観点がある。安定性には、チャンネル安定性と炉心安定性の2つのモードがある。まず、チャンネル安定性は、冷却水の流量配分の振動を防止するためのもので、炉心内の一番出力の高い燃料集合体に対して評価する。炉心安定性は、炉心内の中性子束と熱水力振動とがカップリングして生じる不安定現象を防止するためのものである。それぞれの制限値は減幅比で現わされる。すなわち、チャンネル安定性、炉心安定性共に、減幅比が1.0以下になるように制限されている。

【0062】そこで、本願発明者等は、 $10 \times 10$ 燃料集合体の安定性について検討した。図10は、ウラン装荷量と水ロッド内横断面積のマップ上に安定性の限界線を示したものである。ウラン装荷量とは、燃料集合体1体当たりに装荷できるウラン装荷量であり、ウラン装荷量が大きくなることは燃料棒の外径の増加を意味する。一方、水ロッド内横断面積とは、燃料集合体に位置する水ロッド内の水流路の横断面積を示し、水ロッド内横断面積の増加は水ロッドの外径の増加を意味する。したがって、ウラン装荷量並びに水ロッド内横断面積の増加は、燃料棒、水ロッドの外径を太くし、燃料集合体内の流路面積を減少させるため、流路抵抗が増え、チャンネル安定性の余裕を低減させる。そのため、図10に示すように、水ロッド内横断面積が大、ウラン装荷量が大の領域ではチャンネル安定性は厳しくなり、チャンネル安定性の制限線は右下がりとなる。一方、炉心安定性に対しては、ウラン装荷量の増大、水ロッド内面積の減少は炉心安定性を悪化させるため、制限線は右上がりとなる。そのため、安定性に対する許容領域は、図10の中央部に存在し、チャンネル安定性の制限線と、炉心安定性の制限線とに囲まれた山の形をした領域となる。

【0063】ウラン装荷量の増加は燃料サイクル費を減少させるため、燃料経済上、好ましい。図10の安定性の許容領域内で、チャンネル安定性制限線と炉心安定性制限線との交差点付近（山の頂上部分）が、最も燃料サイクル費が低く、最適な部分であることが分かる。すなわち、この頂上部分（水ロッド内横断面積で $10 \text{ cm}^2$ 近傍）に近接した範囲がチャンネル安定性及び炉心安定性と燃料経済性を両立させる最適点であり、その範囲としては水ロッド内横断面積で $9 \sim 11 \text{ cm}^2$ が好ましい。

【0064】従来の技術では、安定性を増すため、燃料集合体の直下部にオリフィス板を設け、このオリフィス板での抵抗を増やすことや、低圧損型スパーサを採用することも提案されている。したがって、オリフィス抵抗を増大、あるいは、低圧損型スパーサを採用すると、安定性が向上するため、安定性の制限線が移動し、許容領域が拡大する。しかし、この場合、両制限線は共に上に移動するため、最適点（山の頂上部分）に対する水ロッド内横断面積はほとんど変化しない。したがって、燃料集合体の水ロッド内横断面積を $9 \sim 11 \text{ cm}^2$ にすることは、この点からも燃料経済性上、望ましい。

【0065】以上の理由から、本実施例では水ロッド4の横断面積の合計は約 $9 \text{ cm}^2$ となっており、最適点に漸近した位置にあることが分かる。そのため、本実施例では、チャンネル安定性、炉心安定性、及び燃料経済性が向上する。更に、安定性が向上したことにより、安定性向上用に設けられていた機器が不要となる。

【0066】また、水ロッドの横断面積を増加するには、大型水ロッドの採用が、犠牲にしなければならない

燃料棒本数を減少できる点、更に燃料棒冷却効果の小さな冷却材流路面積が減少できる（限界出力を増大する）点で有利である。水ロッドと水ロッドに隣接する燃料棒との間隔を一定とすると、円形水ロッドの場合には、上記スペースの有効利用の点で、 $2 \times 2$ の燃料格子を水ロッドにすることが最も優れている。

【0067】したがって、本実施例では、中性子減速効果が小さな燃料集合体中央領域の10セル分を水ロッド領域としており、水ロッド領域の燃料格子位置を、隣接する4つの燃料格子のうち少なくとも2つ以上が水ロッド領域に隣接するようにすることで、 $2 \times 2$ 相当の大きさの大型円形水ロッドを3本配置し、燃料棒冷却効果の小さな冷却材流路面積が減少した構成となっている。これは、限界出力を増大することになる。

【0068】（3）部分長燃料棒の長さについて次に、部分長燃料棒3、3aの長さがチャンネル安定性及び炉心安定性に及ぼす影響を説明する。図11及び図12に、ウラン装荷量一定の条件で、部分長燃料棒3の長さを変えて、チャンネル安定性及び炉心安定性を評価した結果を示す。図の横軸は、部分長燃料棒3の上端位置を、縦軸は減幅比を示す。部分長燃料棒の上端を下から7段目スパーサ位置（図の右端）から短くすると、集合体上部での流路面積が広がるため、圧力損失が減少し、チャンネル安定性、炉心安定性とも向上する。しかし、部分長燃料棒の長さを、下から3段目のスパーサ以下にすると、ウラン装荷量一定の条件で解析しているため、燃料棒の外径が増大し、集合体下部での圧力損失が増え、不安定化していることが分かる。また、燃料棒外径が増大すると、燃料棒同士の隙間がなくなり、熱的に厳しくなる。そのため、部分長燃料棒の上端位置は、4段目スパーサ、5段目スパーサが最適となり、6段目も使用可能である。これ等スパーサの段数を全長燃料棒の燃料有効長に対する比率で表現すれば、1段目スパーサの下には下部タイプレートがあり、7段目スパーサの上には上部タイプレートがあるので、4段目スパーサは燃料有効長が $4/8$ 、すなわち $1/2$ の位置に相当し、6段目スパーサは燃料有効長が $6/8$ 、すなわち、 $3/4$ の位置に相当する。したがって、部分長燃料棒3の燃料有効長が通常燃料棒2の燃料有効長の $1/2$ から $3/4$ の範囲にあれば、チャンネル安定性及び炉心安定性向上の効果が得られる。

【0069】以上の理由により、本実施例では、部分長燃料棒3、3aの長さを全長型燃料棒2の燃料有効長の $15/24$ 、すなわち、上端が5段目スパーサに支持される長さとし、これによりチャンネル安定性及び炉心安定性が向上する。なお、上端を4段目スパーサで支持する長さとするれば、更に安定性余裕が増大する。

【0070】（4）上部タイプレートについて最後に、上部タイプレート7に関する作用を説明する。本実施例において、部分長燃料棒3の延長上に位置する

格子部 3 2 の部分は、第 1 ウェブ 3 4 に第 2 ウェブ 3 5 を T 字状に結合した構成とし、水ロッド 4 に隣接する部分長燃料棒 3 a の延長上に位置する部分は中空領域 3 6 とし、部分長燃料棒 3, 3 a の延長線上で上部タイプレート 7 の冷却材流路を拡大している。燃料集合体 1 の圧損に占める上部タイプレート 7 の圧損割合は比較的大きく、しかも当該部分では液相と気相の二相圧損であり、部分長燃料棒 3, 3 a と上部タイプレート 7 の冷却材流路拡大との組合せ効果によって、二相圧損低減の効果が一層高まって、チャンネル安定性及び炉心安定性がより向上する。

【0071】また、管内を流れる流体の速度は、管中央部で速く、管壁近傍で遅いことが一般的に知られている。燃料集合体 1 の内部を流れる冷却材の速度についても同様の傾向にある。この結果、燃料集合体 1 の上部においても、上部タイプレート 7 の格子部 3 2 の中央部において流速が相対的に速く、チャンネルボックス 5 の壁近傍の流速は相対的に遅い傾向にある。このことから、例えば緊急炉心冷却装置作動時に燃料集合体 1 の上部から注水された冷却水は、上部タイプレート 7 の格子中央部よりも流速が相対的に遅いチャンネルボックス 5 の壁近傍領域の方が、カウンタフローの影響が少なく、内部に流入し易いと考えられる。本実施例の燃料集合体 1 においては、部分長燃料棒 3 を燃料棒配列の最外層に配置しており、しかも上部タイプレート 7 の格子部 3 2 においては、チャンネルボックス 5 の壁近傍領域の流路面積がより広く確保されるため、非常時の冷却特性上も好ましい燃料集合体構造が得られる。

【0072】（効果）本実施例によれば、燃料棒格子配列及び水ロッドと部分長燃料棒の配置を最適化することで、ボイド係数の低減効果が得られ、反応度制御性が向上すると共に、反応度損失と局所出力ピーキングの両方を改善でき、燃料経済性の向上と熱的余裕の向上が図れる。また、制御棒価値向上の効果も期待でき、安全性が向上すると共に、チャンネル安定性及び炉心安定性も向上する効果がある。

【0073】また、本実施例によれば、部分長燃料棒 3, 3 a と上部タイプレート 7 の冷却材流路拡大との組合せ効果によって、二相圧損低減の効果が一層高まって、チャンネル安定性及び炉心安定性がより向上する。また、非常時に燃料集合体の上部から注水された冷却水が内部に流入し易くなり、安全性が更に向上する効果がある。

【0074】本発明の第 2 及び第 3 の実施例をそれぞれ図 1 3 及び図 1 4 により説明する。これら実施例は、上部タイプレートの構成を除いて図 1 の実施例と同じであり、図中、図 1 に示す部材と同等の部材には同じ符号を付している。

【0075】図 1 3 及び図 1 4 において、上部タイプレート 7 A, 7 B の部分長燃料棒 3, 3 a（図 3 参照）の

延長上に位置する格子部 3 2 A, 3 2 B の部分は、図 1 に示す実施例と同様に少なくともボスが取除かれている。すなわち、図 1 3 に示す第 2 の実施例では、最外層の部分長燃料棒 3 の延長上に位置する格子部 3 2 A の部分はボスとウェブの一部が除去され、格子部の外枠の一部を構成するウェブ 3 4 のみで形成されている。図 1 4 に示す第 3 の実施例では、最外層の部分長燃料棒 3 の延長上に位置する格子部 3 2 B の部分はボスとウェブがともに除去され、中空領域 3 8 になっている。そして第 2 及び第 3 の実施例とも、水ロッド 4（図 3 参照）に隣接する部分長燃料棒 3 a の延長上に位置する部分は、図 1 の実施例と同様にボス及びウェブが共に除去され、中空領域 3 6 になっている。

【0076】このような第 2 及び第 3 の実施例によれば、部分長燃料棒 3 の延長線上で上部タイプレートの冷却材流路が図 1 に示す実施例よりも拡大され、二相流圧損低減の効果が大きくなり、特に図 1 4 の実施例ではその効果が大きくなる。ただし、上部タイプレートの構造強度の観点では、図 1 に示す実施例の方が有利であると考えられる。

【0077】本発明の第 4 の実施例を図 1 5 及び図 1 6 により説明する。本実施例は、本発明を  $9 \times 9$  格子燃料集合体に適用したものである。

【0078】図 1 5 において、本実施例の燃料集合体 1 C は、 $9 \times 9$  の正方格子状に配置された多数の全長型燃料棒 2 2 および部分長燃料棒 2 3, 2 3 a と、これら燃料棒配列の中央部の  $3 \times 3$  の格子領域に対角線状に配置された横断面円形の 2 本の大型水ロッド 2 4 とを有し、これら燃料棒及び水ロッドはその周囲を横断面矩形のチャンネルボックス 2 5 で取り囲まれている。燃料棒 2 2 および部分長燃料棒 2 3, 2 3 a の合計は 74 本である。部分長燃料棒 2 3 は (1, 5), (5, 1), (9, 5), (5, 9) の最外層中心位置に 4 本配置され、部分長燃料棒 2 3 a は最外層より一層内側のコーナ部に 4 本配置されている。部分長燃料棒 2 3, 2 3 a の有効長は、第 1 の実施例と同様、通常燃料棒 2 の  $15/24$  である。水ロッド内横断面積の合計は第 1 の実施例と同様、約  $9 \text{ cm}^2$  となっている。

【0079】図 1 6 に上部タイプレート 7 C の底面図を示す。上部タイプレート 7 C は、燃料棒 2 2 及び水ロッド 2 4 の上端部を支持する複数のボス 4 0 及びボス 4 0 同士を結合するウェブ 4 1 からなる格子部 4 2 と、格子部 4 2 の上面に対角状に取付けたハンドル 4 3 と、格子部 4 2 の 4 箇所のコーナ部に位置しボス 4 0 を兼ねるコーナーポスト 4 7 とを有している。部分長燃料棒 2 3, 2 3 a の上端は上部タイプレート 7 C に支持されておらず、この部分長燃料棒 2 3, 2 3 a の延長上に位置する格子部 4 2 の部分においては少なくともボスが取除かれている。

【0080】すなわち、最外層の部分長燃料棒 2 3 の延

長上に位置する格子部 4 2 の部分はボスのみが除去され、格子部 4 2 の外枠の一部を構成する第 1 ウェブ 4 4 と、この第 1 ウェブ 4 4 と T 字状に結合され、燃料棒配列の最外層に隣接した一層で部分長燃料棒 2 3 に隣接する燃料棒 2 2 の上端を支持するボス 4 0 を第 1 ウェブ 4 4 に結合する第 2 ウェブ 4 5 とで構成されている。また、最外層より一層内側のコーナ部に配置された部分長燃料棒 2 3 a の延長上に位置する部分はボス及びウェブが共に除去され、中空領域 4 6 になっている。その結果、従来と同様に上部タイプレートの格子部 7 C には外枠が形成されているため、構造強度を損なうことなく、部分長燃料棒 2 3、2 3 a の延長線上で上部タイプレート 7 C の冷却材流路を拡大できる。

【0081】本実施例によれば、反応度制御効果は、部分長燃料棒本数の割合が減少することにより、図 1 に示した実施例より減少する。しかし、 $10 \times 10$  格子を  $9 \times 9$  格子にすることで、圧力損失の低減、安定性性能の改善が図れるため、燃料装荷料をさらに増大できる利点がある。

【0082】また、本実施例においては、部分長燃料棒 2 3 a を最外層に隣接した一層のコーナ部に配置することで、チャンネルボックス内の冷却材流量分布及び蒸気体積率分布を均一にする効果がある。一般に、チャンネルボックスに面した領域、特にコーナ部近傍は摩擦抵抗が大きく、冷却材流量が減少する傾向にある。部分長燃料棒を最外層に隣接した一層のコーナ部に配置することで、これを解消できる。さらに、部分長燃料棒 2 3 a を、最外層に配置された 8 本の部分長燃料棒に隣接させないようにすることで、部分長燃料棒に隣接する通常燃料棒 2 の局所出力ピーキングの増大を抑制できることができる。その結果、図 1 の実施例に比べ熱的余裕の指標である限界出力を増大できる。

【0083】更に、本実施例によれば、図 1 に示す実施例と同様に、部分長燃料棒 2 3、2 3 a と上部タイプレート 7 C の冷却材流路拡大との組合せ効果によって、二相圧損低減の効果が一層高まって、チャンネル安定性及び炉心安定性がより向上する。また、非常時に燃料集合体の上部から注水された冷却水が内部に流入し易くなり、安全性が更に向上する効果がある。

【0084】本発明の第 5 及び第 6 の実施例をそれぞれ図 1 7 及び図 1 8 により説明する。これら実施例は、図 1 6 に示す実施例を図 1 3 及び図 1 4 の実施例と同様にそれぞれ修正したものである。

【0085】図 1 7 及び図 1 8 において、上部タイプレート 7 D、7 E の部分長燃料棒 2 3、2 3 a (図 1 5 参照) の延長上に位置する格子部 3 2 D、3 2 E の部分は、図 1 6 に示す実施例と同様に少なくともボスが取除かれている。すなわち、図 1 7 に示す第 5 の実施例では、最外層の部分長燃料棒 2 3 の延長上に位置する格子部 3 2 D の部分はボスとウェブの一部が除去され、格子

部の外枠の一部を構成するウェブ 3 4 のみで形成されている。図 1 8 に示す第 6 の実施例では、最外層の部分長燃料棒 2 3 の延長上に位置する格子部 3 2 E の部分はボスとウェブがともに除去され、中空領域 4 8 になっている。そして第 5 及び第 6 の実施例とも、最外層より一層内側のコーナ部に配置された部分長燃料棒 2 3 a の延長上に位置する部分は、図 1 6 の実施例と同様にボス及びウェブが共に除去され、中空領域 4 6 になっている。

【0086】このような第 5 及び第 6 の実施例によれば、部分長燃料棒 2 3 の延長線上で上部タイプレートの冷却材流路が図 1 6 に示す実施例よりも拡大され、二相流圧損低減の効果が大きくなり、特に図 1 8 の実施例ではその効果が大きくなる。ただし、上部タイプレートの構造強度の観点では、図 1 6 に示す実施例の方が有利であると考えられる。

【0087】なお、以上述べた実施例では、上部タイプレートのボスによって支持されない最外周の部分長燃料棒が最外周各辺の中央にある場合の例である、最外層のコーナ部以外の位置であれば、本発明を適用して同様の効果が得られる。

【0088】また、上記実施例では、 $9 \times 9$  及び  $10 \times 10$  の燃料棒配列について説明したが、 $11 \times 11$  またはそれ以上の燃料棒配列にも、本発明を適用し同様の効果が得られる。

【0089】

【発明の効果】本発明によれば、高燃焼度化を目指した燃料集合体において、反応度を低下させることなくボイド係数を小さくするとともに、部分長燃料棒と上部タイプレートの冷却材流路拡大との組合せによって二相流の圧損低減効果を高め、燃料経済性を向上し、かつチャンネル安定性及び炉心安定性を向上することができる。

【0090】また、本発明によれば、高燃焼度化を目指した燃料集合体において、反応度を低下させることなくボイド係数を小さくしかつ局所ピーキングを平坦化するとともに、部分長燃料棒と上部タイプレートの冷却材流路拡大との組合せによって二相流の圧損低減効果を高め、燃料経済性を向上しかつチャンネル安定性及び炉心安定性を向上するとともに、熱的余裕の増大及び炉停止余裕の向上を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施例による原子炉燃料集合体の上部タイプレートの底面図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施例による原子炉燃料集合体の縦断面図である。

【図 3】図 2 に示す原子炉燃料集合体の横断面図である。

【図 4】減速材領域増大によるボイド係数低減効果 (絶対値) を示す線図である。

【図 5】部分長燃料棒位置とボイド係数低減効果 (絶対値) を示す線図である。

【図6】部分長燃料棒位置と反応度の変化及び局所出力ピーキングとの関係を示す線図である。

【図7】部分長燃料棒位置と制御棒価値との関係を示す線図である。

【図8】部分長燃料棒を隣接させた場合の効果を示す図である。

【図9】減速材領域増大による反応度向上効果を示す線図である。

【図10】10×10の燃料棒配列を持つ燃料集合体における安定性マップを示す線図である。

【図11】部分長燃料棒長さとチャンネル安定性との関係を示す線図である。

【図12】部分長燃料棒長さと炉心安定性との関係を示す線図である。

【図13】本発明の第2の実施例による原子炉燃料集合体の上部タイプレートの底面図である。

【図14】本発明の第3の実施例による原子炉燃料集合体の上部タイプレートの底面図である。

【図15】本発明の第4の実施例による原子炉燃料集合体の横断面図である。

【図16】本発明の第4の実施例による原子炉燃料集合体の上部タイプレートの底面図である。

【図17】本発明の第5の実施例による原子炉燃料集合体の上部タイプレートの底面図である。

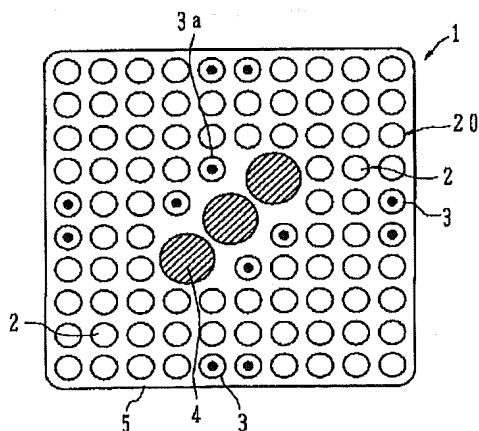
【図18】本発明の第6の実施例による原子炉燃料集合体の上部タイプレートの底面図である。

【符号の説明】

- 1…燃料集合体
- 2…(第1)燃料棒

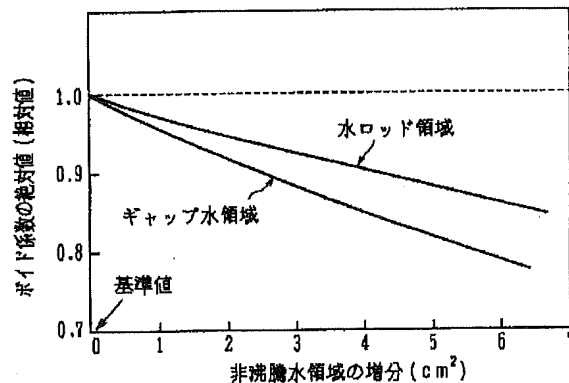
- 3 部分長燃料棒 (第2燃料棒)
- 3 a 部分長燃料棒 (第4燃料棒)
- 4…水ロッド
- 5…チャンネルボックス
- 7…上部タイプレート
- 8…下部タイプレート
- 9…チャンネルボックス
- 2 2…(第1)燃料棒
- 2 3 部分長燃料棒 (第2燃料棒)
- 2 3 a 部分長燃料棒 (第3燃料棒)
- 2 4…水ロッド
- 2 5…チャンネルボックス
- 3 0…ボス
- 3 1…ウェブ
- 3 2…格子部
- 3 3…ハンドル
- 3 4…第1ウェブ
- 3 5…第2ウェブ
- 3 6…中空領域
- 3 8…中空領域
- 4 0…ボス
- 4 1…ウェブ
- 4 2…格子部
- 4 3…ハンドル
- 4 4…第1ウェブ
- 4 5…第2ウェブ
- 4 6…中空領域
- 4 8…中空領域

【図3】

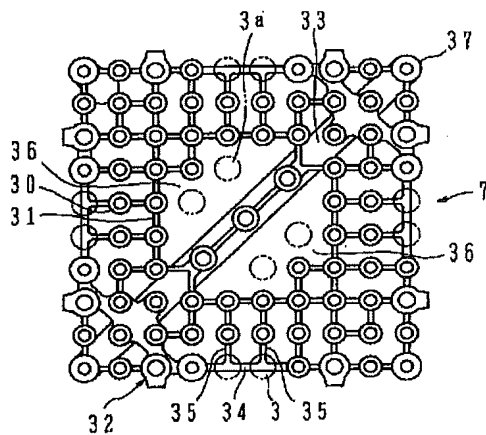


- 1: 燃料集合体
- 2: (第1)燃料棒
- 3: 部分長燃料棒 (第2燃料棒)
- 3 a: 部分長燃料棒 (第4燃料棒)
- 4: 水ロッド
- 5: チャンネルボックス

【図4】

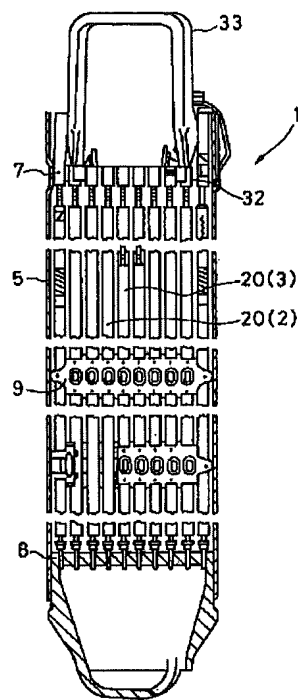


【図1】

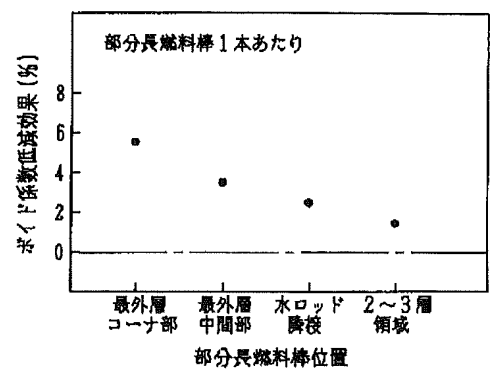


- 3: 部分長燃料棒 (第2燃料棒)  
 3a: 部分長燃料棒 (第4燃料棒)  
 7: 上部タイプレート  
 30: ボス  
 31: ウェブ  
 32: 格子部  
 33: ハンドル  
 34: 第1ウェブ  
 35: 第2ウェブ  
 36: 中空領域

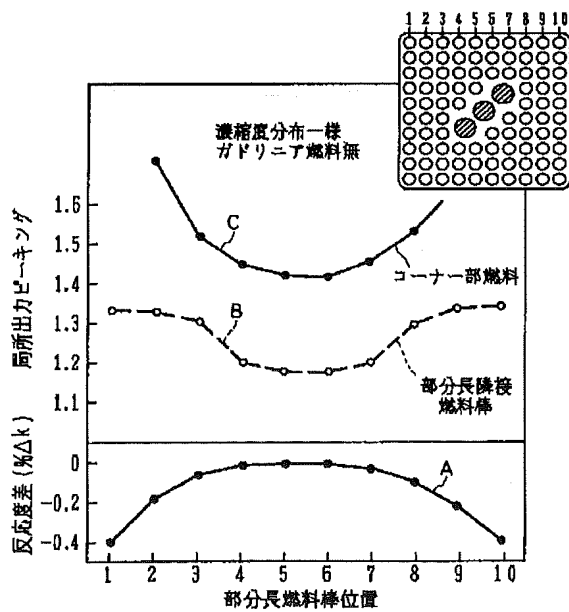
【図2】



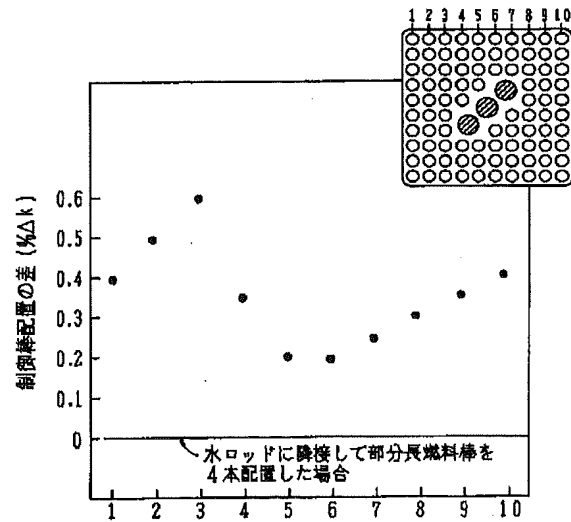
【図5】



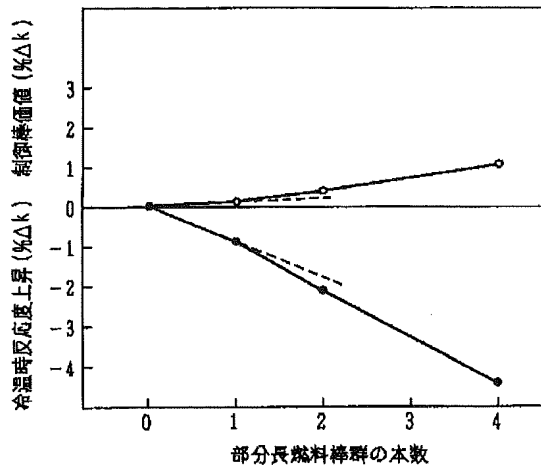
【図6】



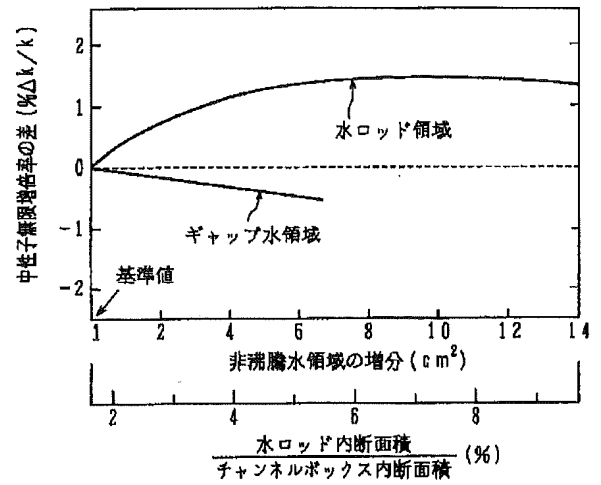
【図7】



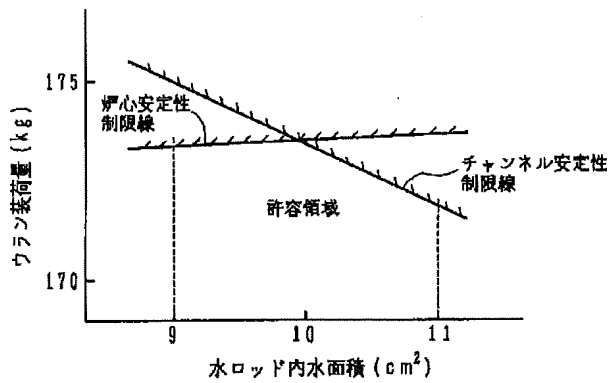
【図 8】



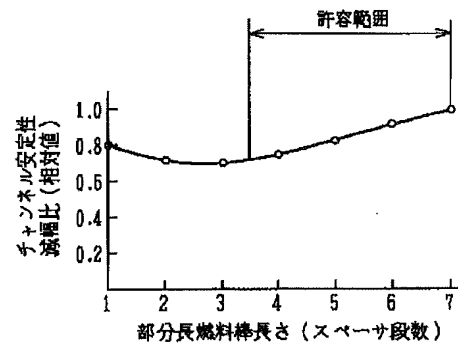
【図 9】



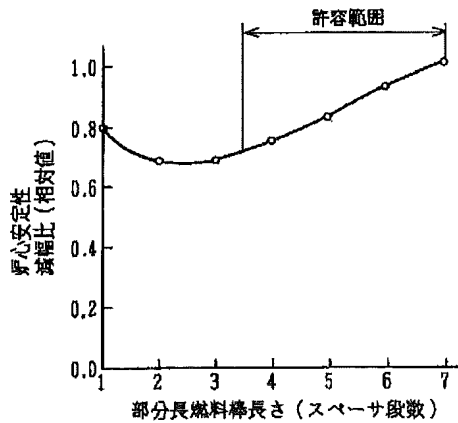
【図 10】



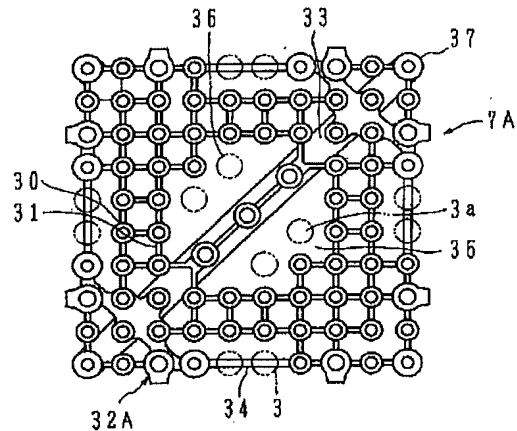
【図 11】



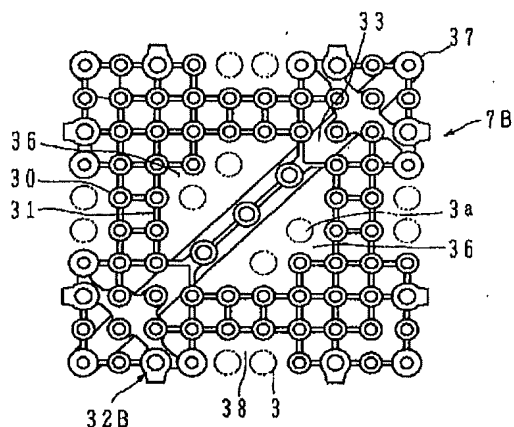
【図 12】



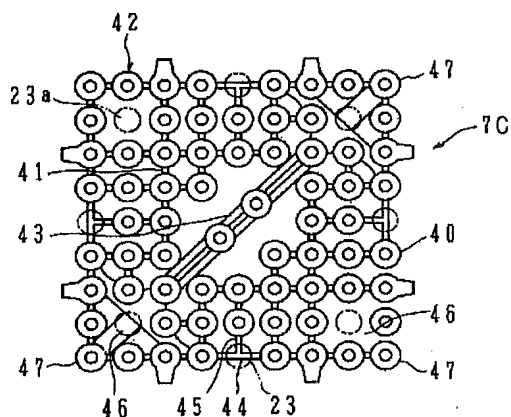
【図 13】



【図14】

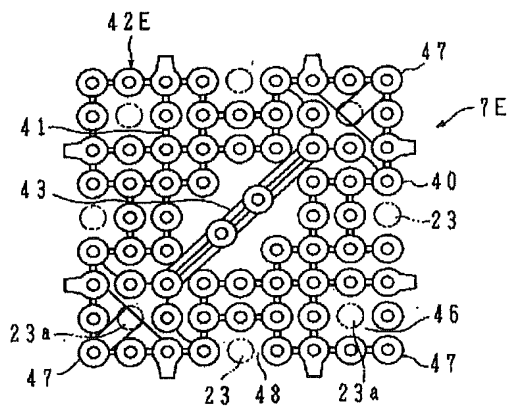


【図16】

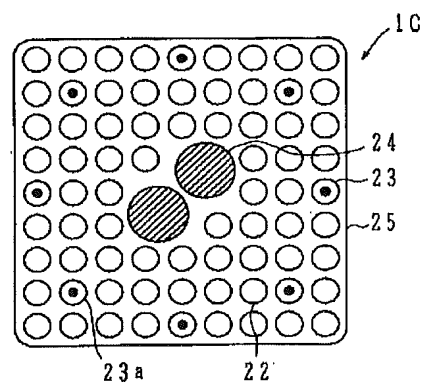


41: ウェブ  
42: 格子部  
43: ハンドル  
44: 第1ウェブ  
45: 第2ウェブ  
46: 中空領域

【図18】

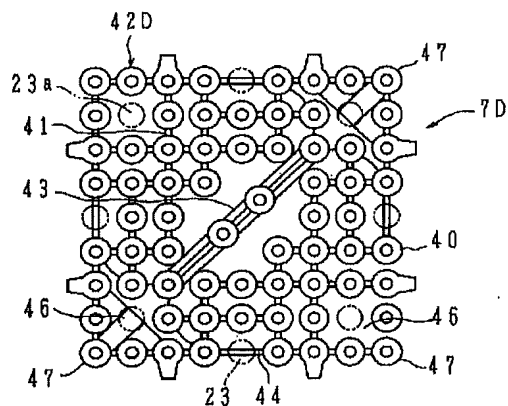


【図15】



22: (第1) 燃料棒  
23: 部分長燃料棒 (第2燃料棒)  
23a: 部分長燃料棒 (第3燃料棒)  
24: 水ロッド  
25: チャンネルボックス

【図17】





フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I		技術表示箇所
		9216-2G	G 2 1 C	3/30	G D B Y
		9216-2G		3/32	G D B S

(72) 発明者 青山 肇男  
茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号 株  
式会社日立製作所エネルギー研究所内